

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

Translation of the attached sheet (Japanese text portions only)
Background Art Information




Patent No./Publication	Inventor(s)/Author(s)	Date etc
*Concise Explanation		
*Concise Explanation		
*Concise Explanation		
Prior Applications of Inventors or of Kabushiki Kaisha Toshiba (Assignee)		
Application No.	Toshiba Reference	Country Agent memo
Inventor(s)		
Signature & Date		

Patent engineer's comment on inventor's information or patent engineer's information		
Jpt. Pat. Appln. KOKAI Publication No. 9-105965, published April 22, 1997.		
Jpt. Pat. Appln. KOKAI Publication No. 7-333452, published December 22, 1995.		
*		
These publications are referred to in the specification on page 3, line 21.		
Checked by	Dated	
Toshiba Reference	Japanese Agent's Ref	sheet

OPTICAL DEVICE

Patent number: JP9105965
Publication date: 1997-04-22
Inventor: BRUCE ALLAN J; GRODKIEWICZ WILLIAM H;
NYKOLAK GERALD; SHMULOVICH JOSEPH; WONG
YIU-HUEN
Applicant: AT & T CORP
Classification:
- **International:** G02F1/35; G02B6/12; G02F1/39; H01S3/10
- **European:**
Application number: JP19960231579 19960902
Priority number(s):

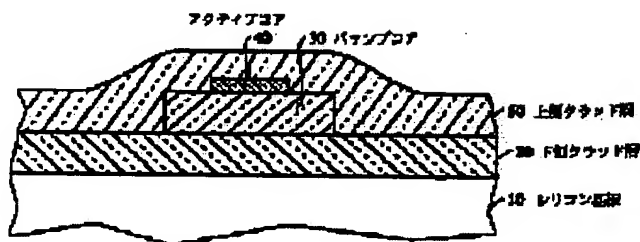
Also published as:

 EP0762571 (A2)
 US5563979 (A1)
 EP0762571 (A3)

Abstract of JP9105965

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a glass for an optical amplifier and an optical fiber which does not contain alkali metals or alkaline earth metals.

SOLUTION: This optical device is an active optical element in a form of a planer optical waveguide structural body or an optical fiber. This active optical element has a thin and long active glass core 40 which contains oxygen, nonmetal element such as silicon and germanium, and erbium at least a part of which is Er^{3+} ion state. The active core contains nonmetal element by 50-90mol%. In the active core, the density of erbium is at least 0.5×10^{20} atoms per 1cm^3 . The laser oscillation level of erbium has at least about 5ms emission life.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-105965

(43) 公開日 平成9年(1997)4月22日

(51) Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 F 1/35	5 0 1
G 0 2 B 6/12			1/39	
G 0 2 F 1/39			H 0 1 S 3/10	Z
H 0 1 S 3/10			G 0 2 B 6/12	H
				N
審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 10 頁)				

(21) 出願番号 特願平8-231579

(22) 出願日 平成8年(1996)9月2日

(31) 優先権主張番号 5 2 2 0 1 2

(32) 優先日 1995年8月31日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390035493

エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション

AT&T CORP.

アメリカ合衆国 10013-2412 ニューヨ

ーク ニューヨーク アヴェニュー オブ
ジ アメリカズ 32

(72) 発明者 アラン ジェームス ブルース

アメリカ合衆国, 07090 ニュージャージー
ー, ウェストフィールド, セネカ ロード
2351

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

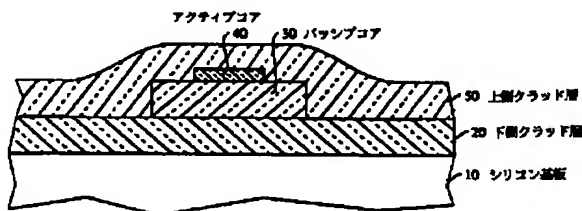
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学デバイス

(57) 【要約】

【課題】 アルカリ金属あるいはアルカリ土金属を含まない光学増幅器および光ファイバ用のガラスを提供する。

【解決手段】 本発明は、平面型光学導波路構造体、あるいは光ファイバの形態で提供される活性光素子である。本発明の活性光素子は、細長い活性ガラス製コアを有し、このコアは、酸素とシリコンあるいはゲルマニウムのような非金属元素と少なくとも一部はEr³⁺イオンの形態のエルビウムを含有する。この本発明の活性コアは、50モル%から90モル%の範囲の非金属元素を含有している。活性コア内では、エルビウムの濃度は、1 cm³ 当たり少なくとも0.5×10²⁰原子である。エルビウムのレーザ発振レベルは、少なくとも約5 msの放射寿命を有する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ほぼ平面上の主表面を有する基板（10）を有し、

- a) シリコンと酸素とエルビウムとを含有し、細長いアクティブガラス製コア（40）と、前記エルビウムは、少なくとも一部は Er^{3+} イオンの形態であり、前記アクティブガラス製コアは633nmの波長において、その屈折率が1.5以上であり、
- b) 前記アクティブガラス製コア（40）の少なくともその一部を包囲する1つの層を含むガラス製クラッド層（50、20）と、前記ガラスクラッド層の屈折率は、前記アクティブガラス製コアの屈折率よりも低く、
- c) 信号放射を前記アクティブガラス製コアに結合し、および前記信号放射を前記アクティブコアから分離する結合分離手段と、
- d) ポンプ放射を前記アクティブガラス製コア内に結合する手段と、このポンプ放射は、 Er^{3+} イオンの少なくとも一部をレーザ発振レベルまで励起し、励起放射により信号放射を増幅させ、からなる光学デバイスにおいて、
- e) 前記クラッド層は、前記アクティブガラス製コア（40）と前記基板（10）の主表面との間に形成された下側クラッド層（20）と、前記アクティブコアを一部包囲しその上部に配置された上側クラッド層（50）とからなり、
- f) 前記アクティブガラス製コア（40）は、少なくとも2つの元素からなる修正成分元素を含み、前記修正成分元素の1つは、周期律表のIIIB族、IVB族、IIIA族からなる金属から選択され、その量はエルビウム原子のクラスター化を阻止し、且つその修正成分元素は、アルカリ金属あるいはアルカリ土金属のいずれでもなく、
- g) 前記アクティブガラス製コアは、エルビウム対シリコンの原子比率は少なくとも0.005でエルビウムの絶対濃度は、少なくとも 0.5×10^{20} 原子/cm³であることを特徴とする光学デバイス。

【請求項2】 前記基板は、シリコン製であることを特徴とする請求項1のデバイス。

【請求項3】 前記アクティブガラス製コア（40）は、エルビウムの絶対濃度が少なくとも 1.4×10^{20} /cm³であることを特徴とする請求項1のデバイス。

【請求項4】 前記アクティブガラス製コア（40）は、信号波長の基本モードを導波し、前記信号放射をアクティブガラス製コアに結合分離する手段は、信号放射を断熱的に結合できることを特徴とする請求項1のデバイス。

【請求項5】 前記 Er^{3+} イオンの濃度は、アクティブガラス製コア（40）全体に一定で、前記アクティブガラス製コアは、放射損傷を受けないことを特徴とする請求項1のデバイス。

2

【請求項6】 前記修正成分元素の1つはランタンで、前記ランタンのアクティブガラス製コア内の量は、5モル%から40モル%の範囲内であることを特徴とする請求項1のデバイス。

【請求項7】 前記アクティブガラス製コア内の第2の修正成分元素は、ランタン以外の金属であることを特徴とする請求項6のデバイス。

【請求項8】 前記第2修正成分元素はアルミで、前記アクティブガラス製コア内に約5モル%から40モル%の範囲内で存在することを特徴とする請求項7のデバイス。

【請求項9】 前記下側クラッド層と、アクティブガラス製コアとの間に形成され、前記アクティブコアの長軸方向に沿って延びる細長い導波パッシブガラス製コア（30）をさらに含み、

前記パッシブガラス製コア（30）は、信号放射の基本モードを導波し、

前記光学信号放射とポンプ放射とを前記パッシブガラス製コア（30）に結合し、前記パッシブガラス製コア（30）から分離する結合分離手段とをさらに有し、

前記パッシブガラス製コア（30）にはエルビウムが存在せず、その屈折率はアクティブコア（30）の屈折率よりも小さく、ただし上側クラッド層（50）と下側クラッド層（20）の屈折率よりは大きく、

前記アクティブガラス製コア（40）は、中央部分と2つの端部とを有し、

前記信号放射とポンプ放射をアクティブガラス製コアに結合分離する手段は、アクティブガラス製コアの2つのテーパ状部分（60）を有し、

各テーパ状部分（60）は、中央部と端部との間に形成され、そのテーパ状部分が長軸方向に直交する少なくとも1つの方向で段階的に減少するように形成されることを特徴とする請求項4のデバイス。

【請求項10】 前記直交方向は、基板の主表面に平行であることを特徴とする請求項9のデバイス。

【請求項11】 前記直交方向は、基板の主表面に直交する方向であることを特徴とする請求項9のデバイス。

【請求項12】 前記パッシブガラス製コア（30）は、リン珪酸塩ガラス（phosphosilicate glass）を含み、

上側クラッド層（50）は、リン珪酸塩ガラスを含み、下側クラッド層（20）は、熱により形成された二酸化シリコンを含むことを特徴とする請求項9のデバイス。

【請求項13】 素子がレーザとして機能するよう少なくとも1つの光学フィードバック要素を含むことを特徴とする請求項1のデバイス。

【請求項14】 素子がパラメトリック発振器として機能するよう少なくとも1つのフィードバック要素を含むことを特徴とする請求項1のデバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ガラス内の稀土類イオンによる励起光学放射により動作する増幅器のようなアクティブ光学素子に関し、特に平面型光学導波路の形態で形成されるアクティブ光学素子に関する。

【0002】

【従来の技術】光学増幅器は、光学信号を分散するネットワークにおいて重要である。例えば、エルビウムのような稀土類元素をドーピングしたガラスから形成される光ファイバ増幅器は公知である。例えば、米国特許第 10 5, 119, 460号を参照のこと。この特許は、高濃度の稀土類元素を含有した光学増幅器について開示している。ここに開示された光学増幅器は、シリコン基板上に堆積された平面型導波路である。このような平面型導波路は、光学信号を網内で分散するような応用にとっては有益である。このような網内分散においては、比較的小さなそして素子の集積が望ましいからである。前掲の特許に開示された光学増幅器は、アルカリ金属、アルカリ土金属、あるいはそれらの混合物を含み、それによりエルビウム原子が、クラスタを形成するのを阻止している。

【0003】アルカリ金属あるいはアルカリ土金属は、このような目的に対しては、有効であるが、このような物質を大量に含むガラスは、それらが堆積されるようなシリコン基板上とは完全には適合するものではない。例えば、アルカリ金属およびアルカリ土金属を大量に含有するガラスは、シリコン基板よりも高い熱膨張係数を有し、これにより導波路形成時に、アニールプロセスにおける温度変化にガラスが曝されるときにガラスのフィルムに応力を引き起こす。このような応力は、ガラスのフ 30 イルムの厚さが増すにつれて大きくなり、2 μ m厚以上の例えばソーダライムガラス (soda-lime glass) のようなアルカリ含有およびアルカリ土金属含有のガラスフィルムに対し、クラック (ひび割れ) を引き起こす。また、アルカリ金属あるいはアルカリ土金属を含有する導波路は、900℃以上の温度に対しては、耐えることができず変形してしまう。このようなことにより上部クラッド層の材料は、900℃以下の温度でガラス上に形成される材料に限定されてしまう。

【0004】アルカリ土金属含有ガラスを、基板上に形成した後は、この移動性アルカリ金属のアウトディフュージョン (out-diffusion) が行われる。これは導波路構造体のパターンを規定するのに用いられる光規定材料のガラスへの接着に悪影響を及ぼす。このアウトディフュージョンはまた、ガラスフィルムの均質性に悪影響を及ぼし、フィルムの欠陥密度を増加させる。アルカリおよびアルカリ土金属は、シリコン系の素子 (集積回路) の形成の他の目的のためには好ましいものではないために、シリコン基板上にこれらのガラスを形成するために用いられる素子は、他のシリコン系素子の処理には用い 40

ることができない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の目的は、アルカリ金属あるいはアルカリ土金属を含まない光学増幅器および光ファイバ用のガラスを提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、平面型光学導波路構造体、あるいは光ファイバの形態で提供されるアクティブ光素子である。本発明のアクティブ光素子は、細長いアクティブガラス製コアを有し、このコアは、酸素とシリコンあるいはゲルマニウムのような非金属元素と少なくとも一部はEr³⁺イオンの形態のエルビウムを含有する。この本発明のアクティブコアは、50モル%から90モル%の範囲の非金属元素を含有している。

【0007】実施例においては、この非金属元素はシリコンである。この本発明のアクティブコアは、さらにアルカリ金属あるいはアルカリ土金属ではない修正材料を含む。この修正材料は、エルビウム原子がクラスタを形成するのを阻止するのに有効なものである。ガラスがシリコン基板10から50モル%のこの修正材料を含むのが好ましい。

【0008】この修正材料は、少なくとも2つの成分を有する。そしてこの両方の成分が、その原子価が3以上であるような金属の金属酸化物を含むのが好ましい。この修正成分元素とその修正成分元素酸化物とは、同じ意味で用いられる。この修正材料の成分がガラスに対しある種の好ましい特性を付与する。例えば、この1つの成分はシリカ内でEr³⁺イオンの溶解性を向上するような材料が好ましい。このような機能を実行する適切な金属酸化物の例は、周期律表のIIIB属、IVB属、IIIA属の酸化物を含む。このような修正成分元素の一例は、La₂O₃である。第2の成分は、ガラス組成を安定させるような金属が好ましい。周期律表のIIIA属金属の酸化物、例えばAl₂O₃、Ga₂O₃は、このような機能を実行する金属酸化物の例である。2つの金属が選択される金属のクラスは、ある部分はオーバーラップするが、ガラスは少なくとも2種類の金属成分を含むことが重要である。例えば、アルミが1つの金属として選択された場合には、アルミ以外の金属が第2の修正成分元素として選択されねばならない。

【0009】さらに本発明のデバイスは、低屈折率のガラス製クラッドとアクティブコアに対し信号放射を結合させたり離脱したりする手段と、Er³⁺イオンをポンピングするために、ポンプ放射をこのアクティブコア内に結合する手段とを含む。このクラッドとコアは、それらが基板の主平面上に存在するように形成される。アクティブコア内では、エルビウムの絶対濃度は、1 cm³ 当たり少なくとも0.5 × 10²⁰原子である。エルビウムのレーザ発振レベルは、少なくとも約5 msの放射寿命

5

を有する。さらにまたエルビウム³の絶対濃度は、 1 cm^3 当たり 1.4×10^{20} 原子であることが望ましい。

【0010】本発明の別の側面では、本発明はほぼ平坦な主表面を有するシリコン基板¹⁰上の光学デバイスの形成方法である。本発明の方法は、第1に主表面上にガラス状の二酸化シリコンの第1層を形成する。その後、この第1層の上に修正材料とエルビウムを含有するシリカベースのガラスのターゲットをスパッタリングする事により、シリカベースのガラス製の第2層を形成する。そしてこの第2層は第1層よりも高い屈折率を有するものである。このターゲット成分は、コアが約50モル%から90モル%のシリカを含有し、そのエルビウム³の絶対濃度は、少なくとも $0.5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ となるように選択され、さらにこのターゲット組成は、レーザ発振レベルが、コア内のエルビウムに関連し、少なくとも約5msの放射寿命を有するように選択される。このスパッタリングステップの後、第2層は、アニールされて安定化する。第2層の一部はその後エッチングにより除去され、細長いコアが形成される。その後、シリカベースのガラス製の第3層がコアの上に堆積され、この第3層が20コアよりも小さな屈折率を有するようにされる。

【0011】本発明の導波路の形成に用いられるガラスは、アルカリ金属とアルカリ土金属を有しないために、ガラスの熱膨張係数は、導波路の下層のシリコン製基板の熱膨張係数に極めて近いために好ましい。ガラスの熱膨張係数が、下層の基板の熱膨張係数にマッチするにつれて、ガラスは温度変化に起因する応力を受けることがなくなる。このような応力は、ガラスに対しクラックを発生させ、あるいは偏光させるのでガラスと下層の熱膨張係数が近いということは好ましいことである。30

【0012】さらにまた、ランタン系希土類金属（例、エルビウム、イッテルビウム）は、アルカリ金属あるいはアルカリ土金属を含まないようなガラス組成に対し、より溶融しやすい。そのため、アルカリ金属およびアルカリ土金属を含有するガラスよりもこれらのガラスにより多くのエルビウムを含有させることが可能となる。本発明のガラスは、その屈折率が1.6と高く、これにより導波路内の光の閉じ込め機能が向上する。このことは、小型で高効率のデバイスに対し有利となる。さらにこれらのガラスは、シリコン基板上に形成された後、より40高い温度（例えば1000℃以上）に耐えることができる。これにより本発明のガラス上に形成されるクラッド材料として幅広い範囲の材料の使用が可能となり、これは従来のアルカリ金属およびアルカリ土金属を含むガラス上に、クラッド材料として使用される材料の範囲よりも広いものであり、このようなアルカリ金属を含有する材料は、シリコン導波路上に形成された後、900℃以上の温度変化には耐えることができないものである。

【0013】

【発明の実施の形態】本発明の光学増幅器は、Er³⁺イ 50

6

オンからの励起放射により光学信号を増幅するために用いられている。従来公知のように、光学増幅器に適切な信号波長は約1.5μmである。様々な波長のポンプ放射を用いてEr³⁺イオンを励起している。

【0014】図1において本発明の一実施例は、シリコン基板10とこのシリコン基板10上に形成された下側クラッド層20と、この下側クラッド層20上に形成されたパッシブコア30と、このパッシブコア30上に形成されたアクティブコア40と、このパッシブコア30とアクティブコア40と下側クラッド層20の上に形成された上側クラッド層50とからなる。本発明の他の実施例においては、パッシブコア30が取り除かれている。

【0015】同図から明らかなように、2つのコア30と40は、2つのクラッド層即ち、下側クラッド層20と上側クラッド層50とにより包囲されている。下側クラッド層20と上側クラッド層50の屈折率は、必ずしも等しい必要はない。しかし、下側クラッド層20と上側クラッド層50の屈折率は、アクティブコア40の屈折率よりも小さく同時にまたパッシブコア30の屈折率よりも小さくしなければならない。これらの屈折率差により信号波長の電磁放射と、少なくとも1つのポンプ波長とは、パッシブコア30とアクティブコア40内に導かれる。（一般的にパッシブコア30とアクティブコア40の導波路特性は、必ずしも別個のものではない。したがって、例えばアクティブコア40内を導かれる放射は、もっぱらその中をガイドされるものではなく、その下のパッシブコア30が寄与する有効コアによって導波されるものである。）

【0016】好ましくはアクティブコア40とパッシブコア30は、少なくとも1つの信号波長に関しては、シングルモード導波路として機能する。かくして信号放射は、もっぱらこの基礎的なモードでガイドされる。しかし、他の実施例においては、アクティブコア40とパッシブコア30は信号波長とポンプ波長の両方に対しては、マルチモード導波路として機能することも可能である。

【0017】アクティブコア40の屈折率はパッシブコア30の屈折率よりも幾分大きい、その理由はアクティブコア40内の光量を最大にするためである。例えば、アクティブコア40とパッシブコア30の屈折率は、それぞれ1.50と1.45である。このような屈折率差によりアクティブコア40内を導波される電磁波は、パッシブコア30内を導波される波よりもより狭いモードプロファイルを有する。したがって、このような状況においては、アクティブコア40をパッシブコア30よりも狭く形成することが望ましい。このようなアクティブコア40を図1に示す。

【0018】下側クラッド層20は、シリコン基板10のほぼ平面上の主表面上に形成される。このシリコン基

7

板10は、代表的にはシリコンウェハである。下側クラッド層20は、例えばHIPOX層、即ち公知の方法により高圧蒸気下でシリコンを熱酸化させることにより成長させたガラス状の二酸化シリコン層である。下側クラッド層20の厚さは、10 μ m以上でなければならない、その理由は光学的な漏れは厚さが薄くなると発生するからである。この下側クラッド層20の好ましい厚さは約15 μ mである。

【0019】パッシブコア30は、リン珪酸塩ガラス製(phosphosilicate glass)である。このガラスのリン¹⁰含有率と屈折率(下側クラッド層20と上側クラッド層50とアクティブコア40の組成に対する)は、公知の方法により所望の導波路特性を提供できるように選択される。パッシブコア30のガラス組成の有効な範囲は、最大8重量%のリンを含む珪素からなり、そしてこのリンの含有率のより好ましい範囲は、4-8重量%の範囲である。パッシブコア30は、低圧CVDにより下側クラッド層20上に堆積される。このパッシブコア30の厚さは約5 μ mで、パッシブコア30の幅は約6 μ mである。

【0020】アクティブコア40は、エルビウムを含有したシリカベースのガラス製であり、このガラスは、エルビウム原子対シリコン原子の比率が少なくとも約0.05で、好ましくは少なくとも約0.01で、さらに好ましくは少なくとも0.02である。さらにまたエルビウムの絶対濃度は、少なくとも約0.5 $\times 10^{20}$ 原子/cm³である。これ以上少ないエルビウム対シリコンの比率は好ましくなく、その理由は増幅器の単位長さ当たりの信号ゲインの値が小さくなってしまふからである。

【0021】本発明の光学素子のアクティブコア40³⁰は、50モル%から90モル%の間の非金属元素(シリコンあるいはゲルマニウム)を含有する。好ましい実施例においては、このような非金属元素はシリコンである。様々なガラス成分修正化学素子(以下、修正成分元素と称する)が、アクティブコア40のガラスに付加される。このアクティブコア40は、少なくとも2種類の金属酸化物の組み合わせからなる修正成分元素を含む。この修正成分元素は、アルカリ金属あるいはアルカリ土金属であってはならない。

【0022】この修正成分元素がアクティブコア40内⁴⁰で様々な機能を実行する。例えば、修正成分元素の1つあるいはその両方は、ガラス内のエルビウム元素の溶解率を高め、その結果エルビウム原子が高濃度でクラスター化(群を形成)するのを阻止する。ある種の修正成分元素は、濃度消滅効果(concentration-quenching effect)を回避しながらエルビウムの溶解率を高めることが見いだされている。このような濃度消滅効果は、それがない場合には、Er³⁺の放射寿命を高濃度では5ms以下に減少させてしまう(即ち、エルビウム対シリコンの比率は0.01以上でなければならない)。このような

8

観点から有効な修正成分元素は、周期律表のIIIB属、IVB属、IIIA属の金属であり、このような金属の例としては、ランタン、イットリウム、スカンジウム、アルミニウムがある。このような修正成分元素は、金属酸化物としてガラス内に導入される。

【0023】このような修正成分元素は、Er³⁺の吸収ピークと放出ピークを均質にまたは非均一に広げることがを制御する。ランタン、イットリウム、ジルコニウムのような元素は、フィールド強度イオンを高めるのに役立ち、ピーク値を広げる傾向がある。

【0024】このような修正成分元素の少なくとも1つは、ガラス網状構造を交差結合するのに役立つ。このような交差結合は、非均一性の拡大を増加させる。このような機能を実行する金属の例は、アルミとガリウムである。この種の様々な機能を実行する金属の類は、ある程度オーバーラップするが、少なくとも2種類の異なる金属を修正成分元素、本発明のガラス内の修正成分元素として用いる。

【0025】上に列挙した修正成分元素は、ガラス内で様々な他の機能も実行する。例えば、アルミとランタンは、フィルム堆積の間、あるいはその後不透明化、結晶化、湿気による暴露に対し、ガラスを安定化させることができる。(その理由は、修正成分元素の種類と量はガラスの熱膨張係数に影響し、下の基板の熱膨張係数に近似するよう成分を調整するからである。)

【0026】かくして、例えば、エルビウムに対し、高い溶解率を有するアクティブコア40のガラスは、シリカ系ガラス内に相当量のランタンを含有させることにより容易に形成できる。このアクティブコア40のガラスは、5モル%から30モル%のランタンを含有する。このアクティブコア40は、また5モル%から30モル%の第2の修正成分元素を含有し、これによりガラスを安定化させる。この第2の修正成分元素は、アルミが好ましい。

【0027】この第1の修正成分元素の選択は、必ずしも第2の修正成分元素の選択を制限するものではない。しかし、好ましくは、得られたガラスが容易に形成され、ガラスフィルムの基板上への形成の間、およびその後の処理の間、結晶化と相分離に耐えるものでなければならない。この点からある修正成分元素(La)をガラス内のEr³⁺イオンの溶解性に対する影響の観点から選択し、別の修正成分元素(Al)がガラスの特性に対し直接的な影響を及ぼすものを選択する。例えば、上記した他の修正成分元素を適宜の量を加えるのが好ましく、特に最終的な所望の屈折率、関連する溶解率の制限、ガラスの安定性あるいは熱膨張係数を含むガラスの物理的、化学的特性の観点から制限される量だけ加えるのが好ましい。

【0028】アクティブコア40を堆積する代表的な方法は、以下に述べるスパッタリングである。アクティブ

コア40の屈折率は、下側クラッド層20と上側クラッド層50の両方の屈折率よりも高くなければならず、また、パッシブコア30のそれよりも高くなければならない。スパッタリングを使用する利点は、 E_r^{3+} イオンのイオン濃度が、アクティブコア40全体に亘ってほぼ均一となることである。さらに放射ダメージ（エリビウムのドーピングがイオン注入により行われる場合に発生する）が回避できる。

【0029】アクティブコア40の厚さは約 $1.5\mu m$ である。このアクティブコア40が $1.0\mu m$ 以下の厚さしかない場合には、信号波長では導波されるモードが存在しなくなる。このアクティブコア40の幅は、少なくとも約 $2\mu m$ で一般的には約 $5\mu m$ である。このアクティブコア40の全長は、約 $5mm$ 以上である。

【0030】上側クラッド層50は、ボロンリン珪酸塩ガラス (boro-phosphosilicate glass) から低圧CVD法により形成される。所望の屈折率を得るために、例えばリンの量を適宜選択する。代表的なリンとボロンの含有量は、それぞれ約2重量%である。上側クラッド層50の厚さは約 $5\mu m$ である。

【0031】次に上記のごとく形成した本発明の光学増幅器の使用例について述べる。約 $1.55\mu m$ の波長の光学信号と、 $1.55\mu m$ よりも短い波長のポンプ放射が、パッシブコア30内に結合され、そしてパッシブコア30からアクティブコア40に移行する。従来公知のように、ポンプ放射は、アクティブコア40内で E_r^{3+} イオンにより吸収され、少なくともその一部を $4I_{13/2}$ 状態に移行させる。そしてこの状態は、原子励起のレーザ発振レベルである。このレーザ発振レベルに直接到達するのではなく、より高いエネルギーのいくつかの励起状態のいずれか1つへの光学励起によって達成するものである。このレーザ発振レベルは、これらのより高い状態からの非放射崩壊 (nonradiative decay) により到達できる。したがって、ポンプ放射は、 $980nm$, $810nm$, $660nm$, $514nm$, $1.48\mu m$ の波長のグループのいずれかにおいて有効なものである。

【0032】エルビウムイオンの励起と、その結果得られる増幅が行われるために、信号放射とポンプ放射は、パッシブコア30からアクティブコア40内あるいはその逆に結合しなければならない。図2において、これはアクティブコア40にテーパ部60を形成することにより達成できる。即ちこのアクティブコア40は、2つの終端部分を有し、その1つは、端部に到達するにつれてその幅が段階的に狭くなるものである。このような寸法の減少は、コアの軸に直交する少なくとも1つの方向において行われる。このような直交方向の寸法は、図2に示すように横方向、あるいは図3に示すように垂直方向のいずれでもよく、いずれにしても堆積方向に直交するものである。

【0033】この実施例においては、テーパ部60は

断熱的、即ち信号放射がパッシブコア30からアクティブコア40にモード変化なく結合し、そして再びアクティブコア40からパッシブコア30に結合する時に依然として基本モード内に留まっている。(一実施例においては、アクティブコア40とパッシブコア30は信号放射に対しシングルモード導波路である。) このテーパ部60は、比較的滑らかな場合にのみ断熱的となる。例えば、側面が真っ直ぐのテーパでは、100対1 (即ち元の幅 (あるいは深さ) の100倍の長さ) に亘ってだんだんと0になること) の減少比率の場合通常断熱的となる。このテーパ領域の長さは約 $1mm$ である。

【0034】次に図4に本発明の光学増幅器の製造プロセスを示す。ステップAにおいては、下側クラッド層20がまず形成される。ステップBにおいては、パッシブコア30に対応する層が下側クラッド層20の上部表面に堆積される。ステップCにおいては、このようにして形成されたワークピースをアニールして、堆積されたパッシブコア30の層の少なくとも一部を高密度化する。適切なアニール条件は、当業者には明かである。ステップDにおいては、パッシブコア30の層をエッチングする事により形成する。ドライエッチングが好ましい。

【0035】ステップEにおいて、このように形成されたワークピースをアニールして、エッチングにより形成された凹凸を平滑化するためにパッシブコア30を流動化させる。これに適合したアニール条件は当業者には公知である。ステップFにおいて、アクティブコア40に対応する層を堆積する。ステップGにおいて、このようにして形成されたワークピースをアニール (酸素中 $800^{\circ}C$ で2時間) する。このアニールする目的は、堆積されたフィルムを構造体のその後の変化、光学特性、化学物質に対する感受性に対し、安定化させるものである。

【0036】ステップHにおいて、アクティブコア40の層の一部をエッチングで除去することによりアクティブコア40を形成する。このエッチングプロセスは、イオンミリングが好ましい、その理由は、このプロセスは除去される金属の組成に対し、比較的非選択的であるからである。次にオプションとしてステップIは、このように得られたワークピースをアニールして、ステップHの間形成された表面の凹凸を平滑化するために、アクティブコア40を流動化させる。このようなアニール条件は当業者には公知である。

【0037】ステップJにおいて、このワークピースを例えば高乾燥酸素のような反応性雰囲気中で少なくとも約1時間、少なくとも約 $900^{\circ}C$ の温度でアニールする。この目的のための酸素は、研究所レベルの純度で99.999%の純度である。このステップにより汚染物を減少させると考えられる。

【0038】オプションとしてステップKは、上側クラッド層50を堆積する前に適当な誘電体材料製の保護フィルムをアクティブコア40の上に形成して、上側クラ

11

ッド層50によるアクティブコア40の汚染を防ぐものである。このような汚染を避けなければならない理由は、 Er^{3+} イオンの放射寿命を減少させてしまうからである。この目的のために有効な保護フィルムは、スパッタリングあるいは蒸着により形成された二酸化シリコンフィルムあるいはリン珪酸フィルムである。このような保護フィルムは少なくとも約1000オングストローム厚さでなければならない。ステップLにおいて、上側クラッド層50が堆積される。

【0039】エッチングステップDとHは、エッチング10が行われた後、アクティブコア40とパッシブコア30の残りの部分がアクティブコア40の上にパッシブコア30を含むような細長い一対のコアが形成できるように行われる。この2つのコアは、共通の長軸を有する。図2、3に示すようにアクティブコア40は、その軸方向ではパッシブコア30よりも短く形成される。これにより、アクティブコア40がその上に形成されていない一対の端部受動型コア部分70が形成される。テーパ部60が図2に示すように横方向に関して形成されると、アクティブコア40は、その横方向ではパッシブコア3020よりも幅が狭い。しかし、テーパ部が図3に示すように垂直方向に形成される場合には、アクティブコア40とパッシブコア30の幅は同一でもよい。

【0040】アクティブコア40の代表的な堆積方法は、スパッタリングである。この方法によれば、所定の成分のガラスターゲットが用意される。シリコン製の基板とターゲットが 3×10^{-7} torrの圧力以下の真空室内に配置される。この真空室が真空引きされ酸素とアルゴンが追加される。無線周波数の放電が行われ、これによりターゲットからの材料の蒸着と基板上へその材料が堆30積するものである。

【0041】堆積されたアクティブコア40の層は、少なくとも2つの修正成分元素を含み、それによりエルビウム原子のクラスター化を阻止し、ガラスに有効な特性を付与することができる。追加の元素を含有するガラスのスパッタリングでは満足する結果が得られないがその理由は、堆積されたガラス中の付属の元素の含量は、ターゲット中の付属の元素の量よりはるかに少ないからである。しかし、我々は適切なスパッタリング条件の元では、堆積したガラス中の付属の元素の含量は、ターゲットのそれにほぼ等しくできることを発見した。このような観点からスパッタリング室内の条件は以下のようなものである。圧力は8 mTorrから50 mTorrで、好ましくは27 mTorrである。アルゴン対酸素の流量比は、10:1から0.3:1の間で、好ましくは0.5:1である。基板の温度は、25℃から70℃の間で、無線周波数は13.6 MHzでそのパワーは50 Wである。本発明においては、ターゲットは直径が7.6 cmのターゲットで、シリコンウェハの基板は直径が10.2 cmであった。そしてターゲットは、基板から2.5-7.50

12

6 cm、好ましくは7.6 cm離して配置した。

【0042】励起されたエルビウムイオンのレーザー発振レベルの放射寿命は、少なくとも5 msが好ましい。このような比較的長い放射寿命を達成するために、デバイスの製造の際、ステップJにおける反応性雰囲気中のアニールを行うことが重要である。

【0043】次に、上記のごとく構成した本発明のデバイスの使用例について述べる。信号放射とポンプ放射が組み合わされて、本発明の増幅器に注入された。信号放射とポンプ放射が結合され、本発明の増幅器に図2の方向性カプラあるいは波長分割マルチプレクサ80により注入された。この増幅された信号が、図2の波長分割ディマルチプレクサ85により取り出され、増幅された信号を劣化させる不用なポンプ放射が、フィルタ装置によって除去された。このような方法は、従来技術で公知である。

【0044】別の方法として、前述した方法により形成されたガラス材料をファイバに形成する方法もある。このガラスをファイバに形成するプロセスは公知である。

【0045】上記の説明は、本発明の一実施例であり、本発明の変形例としてレーザー発振器、あるいはパラメトリック発振器は、本発明の導波路構造と少なくとも1つの光学フィードバック要素とを組み合わせることにより容易に形成できる。このようなフィードバック装置としては、ミラーあるいは分散型ブラグリフレクタがある。このような装置は、図2を参照して方向性カプラあるいは波長分割マルチプレクサ80と波長分割ディマルチプレクサ85の一方あるいは両方をミラーあるいはブラグリフレクタでもって置換することにより形成できる。

【0046】

【実施例】エルビウムをドーブしたガラスフィルム（端部の厚さは0.8 μm で、中央部は約1.5 μm ）をスパッタリング堆積により10.2 cmの直径のシリコンウェハ上に形成した。ターゲットのガラスは、その直径が7.6 cmで、標準のフォルダに搭載した。このターゲットガラスの成分は、65モル%の SiO_2 と、25モル%の Al_2O_3 と、9.6モル%の La_2O_3 と、0.4モル%の Er_2O_3 からなる。このようにして得られたガラス成分は、65モル%のシリカと、25モル%のアルミナと、9.6モル%の酸化ランタンと、0.4モル%のエルビウムである。堆積された層をラザフォードバックスキタリングにより解析した。これら全ての三層は、エルビウムの放射寿命は、約8 msで、エルビウムの絶対濃度は、 1.6×10^{20} 原子/ cm^3 であった。

【0047】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、アルカリ金属あるいはアルカリ土金属を含まない光学増幅器および光ファイバ用のガラスを提供することができる。本発明は、平面型光学導波路構造体、あるいは光ファイバの形態で提供されるアクティブ光素子であり。

13

14

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例による導波路構造体の断面図

【図2】図1の導波路構造体の上面図

【図3】本発明の他の実施例による導波路構造体の断面図

【図4】本発明の導波路構造体を形成する代表的なプロセスのステップを表すフローチャート図

【符号の説明】

- 10 シリコン基板
20 下側クラッド層
30 パッシブコア
40 アクティブコア

*50 上側クラッド層

60 テーパー部

80 方向性カプラあるいは波長分割マルチプレクサ

85 波長分割ディマルチプレクサ

A 下側クラッド層の形成

B パッシブコアの層の堆積

C, E, G, I, J アニール

D パッシブコアの層のエッチング

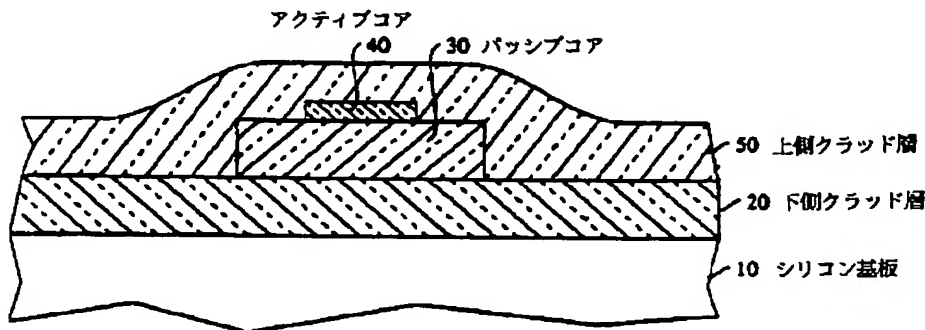
F アクティブコアの層の堆積

10 H アクティブコアの層のエッチング

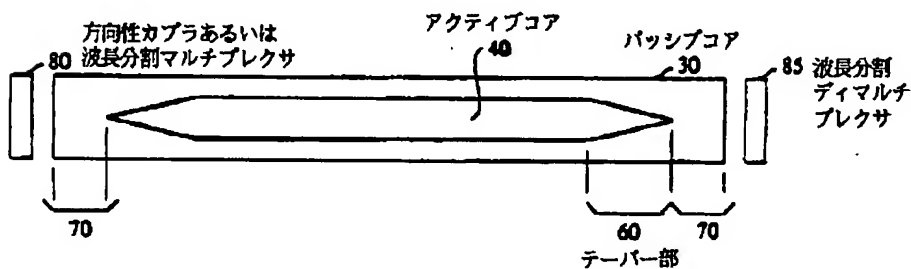
K 保護フィルムの堆積

* L 上側クラッド層の堆積

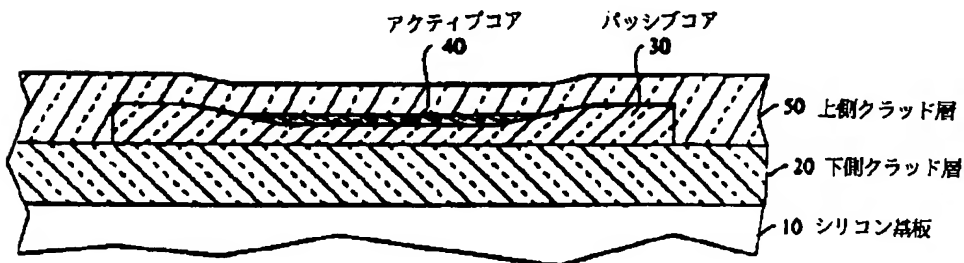
【図1】



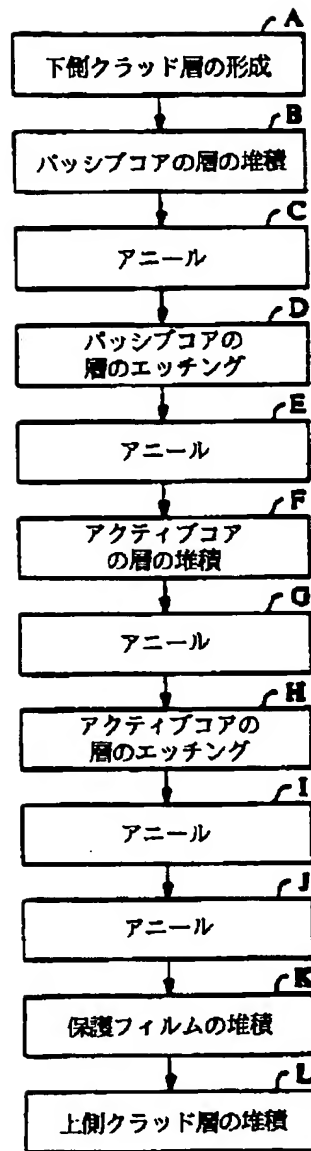
【図2】



【図3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 ウィリアム ヘンリー グロッドキーウィ
ツチ
アメリカ合衆国, 08826 ニュージャージ
ー, グレン ガードナー, フォックス ハ
ロウ ロード 217

(72)発明者 ジェラルド ニコラック
アメリカ合衆国, 11561 ニューヨーク,
ロング アイランド, ロング ビーチ, フ
ランクリン ブールヴァード 320

(72)発明者 ジョセフ シュムロヴィッチ
アメリカ合衆国, 07974 ニュージャージ
ー, マーレイ ヒル, サガモア ドライブ

(72)発明者 イウーヒューエン ウォン
アメリカ合衆国, 07901 ニュージャージ
ー, サミット, ウッドランド アヴェニュー
ー 160